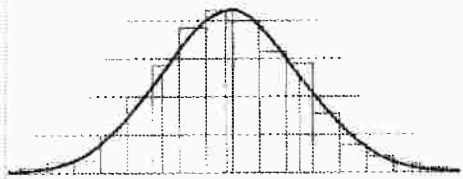

الفصـــــل

28

على نفسه جنى الكمبيوتر

ينحدر غيدو كاستلنوفو Guido Castelnuovo من عائلة يهودية إيطالية ذات شأن. تعود أصول أسلافها إلى الرومان القدامى في أيام القياصرة الأوائل. كان كاستلنوفو يخوض معركة بمفرده وهو عضو في الهيئة التدريسية لمادة الرياضيات في جامعة روما سنة 1915. أراد أن يقدم دورة في الاحتمالية، ورياضيات دراسات التأمين في برنامج التخرج. كان علماء الرياضيات ينظرون في ذلك الوقت إلى الاحتمالية، وقبل أن يضع أندريه كولموغوروف أسس النظرية الاحتمالية، على أنها مجموعة من الأساليب تستخدم تقنيات الحساب المعقدة. كانت معلومات عرضية مثيرة في الرياضيات، غالباً ما تدرس كجزء من مادة الجبر، ولكنها لم تحظ بالاهتمام في برنامج التخرج في وقت كانت تجمع فيه قوانين التجريديات الجميلة في

الرياضيات البحتة. كانت الرياضيات التطبيقية في أسوأ أحوالها في الوقت الذي كانوا يهتمون فيه برياضيات التأمين. كانت تهتم بحساب مراحل الحياة والحوادث المتكررة حساباً نسبياً بسيطاً. هكذا اعتقد أعضاء الكلية الآخرون.

اهتم كاستلنوفو اهتماماً بالغاً بالتطبيقات الرياضية إضافة إلى أعماله الرائدة في المجال التجريدي للهندسة الجبرية، وأقنع باقي أعضاء الكلية بالسماح له بإنشاء مثل هذه الدورة. نشر كاستلنوفو نتيجة لهذه الدورة، أحد أوائل الكتب المنهجية عن الاحتمالية مع التطبيقات الإحصائية، حساب الاحتمالات والتطبيقات Calcolo della probabilita e applicazioni، الذي نشر سنة 1919. استخدمت عدة جامعات إيطالية أخرى هذا الكتاب في دورات مشابهة. أنشأ كاستلنوفو سنة 1927 كلية الإحصاء وعلوم التأمين في جامعة روما. وجرى في العشرينيات والثلاثينيات تبادل حيوي بين المدارس الإيطالية النامية لعلماء الإحصاء المهتمين بأبحاث التأمين، ومجموعة مماثلة في السويد.

أدخل سنة 1922، بنيتو موسوليني Benito Mussolini نظام الفاشية إلى إيطاليا، وفرض ضوابط صارمة على حرية التعبير. تم اختبار الطلبة والهيئات التدريسية في الجامعات لإبعاد «أعداء الدولة». من غير تمييز عرقي، ولم يعط أهمية زائدة كون كاستلنوفو يهودياً[1]. تمكن من إتمام عمله في السنوات الإحدى

(1) كانت الفاشية الإيطالية في شكلها الأولي مؤيدة للعائلة. ومن أجل =

عشرة الأولى للحكومة الفاشية. وفي سنة 1935، أدت المعاهدة الدولية بين الفاشية الإيطالية، والنازية الألمانية إلى فرض قوانين ضد السامية في إيطاليا، وتم تنحية غيدو كاستلنوفو من منصبه.

لم يتوقف الرجل الدؤوب عن العمل إلى أن مات سنة 1952. أبعدت القوانين النازية العنصرية الكثير من الطلبة اليهود الممتازين. قام كاستلنوفو بتنظيم بعض الدورات الخاصة في منزله، وفي منازل أساتذة سابقين من اليهود، ليساعد الخريجين على إتمام دراستهم. أمضى كاستلنوڤو، إضافة إلى كتابة بعض الكتب عن تاريخ الرياضيات، الأيام الأخيرة من عمره في فحص العلاقة المنطقية بين الحتمية والمصادفة، وبمحاولته تفسير المواضيع التي لها علاقة بمفهوم المسببات والنتائج التي ناقشناها في فصول سابقة، والتي سوف أراجعها في الفصل الأخير من هذا الكتاب.

كان للمدرسة الإيطالية للإحصاء المنبثقة من جهود كاستلنوڤو، أسسا رياضية متينة لكنها استخدمت مشاكل تطبيقية واقعية كنقطة بداية لمعظم التحريات. وكان الشاب كرادو جيني Carrado Gini، زميل كاستلنوڤو المعاصر، يرأس المعهد المركزي للإحصاء في روما Instituto Centrale di Statistica، وهو معهد

= ذلك، كان يسمح فقط للرجال المتزوجين من أن يتسلموا مناصب في الحكومة. وشمل هذا المناصب في كليات الجامعات. وفي سنة 1939، فاز العبقري برونو دي فينيتي في مسابقة عالمية بمنصب بروفيسور رياضيات في جامعة تريست University of Trieste، ولكن لم يسمح له باستلامه، لأنه كان أعزب حينذاك.

خاص نظمته شركات التأمين للمزيد من أبحاث التأمين. قاد اهتمام جيني بكل أنواع التطبيقات، بأن جمعه مع غالبية علماء الرياضيات الإيطاليين الشباب المهتمين بالإحصاء الرياضي في الثلاثينات.

براهين غليفنكو ـ كانتيلي

كان فرانسيسكو باولو كانتيلي Francesco Paolo Cantelli (1875-1966)، أحد الرياضيين الذين شاركوا كولموغوروف في تأسيس أسس النظرية الاحتمالية. لم يكن كانتيلي مهتماً بقضية البحث عن الأسس (التي تتعامل مع الأسئلة مثل، ماذا تعني الاحتمالية؟) ولكنه لم ينجح في التوغل بعمق في النظرية الأساسية مثل كولموغوروف. كان كانتيلي مسروراً في اشتقاق النظريات الرياضية الأساسية، المبنية على نوع الحسابات الاحتمالية، التي كانت سائدة منذ أن قدم آبراهام دي موافر، أساليب الحساب في الحسابات الاحتمالية، إبان القرن الثامن عشر. اكتشف كانتيلي سنة 1916، ما كان يسمى بالنظرية الأساسية للإحصاء الرياضية. وبالرغم من أهميتها، إلا أن اسمها لم يرتبط به ولكن دعيت بـ «براهين غليفنكو-كانتيلي»[2]. كان

(2) تمت ترجمة الرياضيات الأساسية لعناصر إقليدوس لكتب الهندسة المدرسية في القرن الثامن عشر، وتم تنسيق النماذج المنطقية للاستنتاجات. وتحت هذا التنسيق، كانت كلمة نظرية تستخدم لوصف النتيجة المحددة للتجربة التي بين أيدينا. ولأجل إثبات بعض النظريات، كان من الضروري إثبات بعض النتائج المتوسطة التي يمكن أن تستخدم في النظرية النهائية، والتي قد تصبح متوفرة أيضاً في حين إثبات نظريات أخرى. عرفت مثل هذه النتيجة بالبراهين.

كانتيللي أول من أثبت النظرية، وفهم أهميتها جيداً. يحظى جوزيف غليفنكو، الطالب عند كولموغوروف، بامتياز جزئي لأنه استفاد من الرموز الرياضية المطورة والمعروفة بـ «تكامل ستيلتيس Stieltjes integral» لتعميم النتائج في البحث الذي نشره سنة 1933 (في مجلة إيطالية لعلم الرياضيات). تبقى الرموز التي استخدمها غليفنكو هي الأكثر استعمالاً في المناهج الحديثة.

إن براهين غليفنكو-كانتيلي هي من تلك النتائج التي لا يظهر وضوحها وجلاؤها إلا بعد اكتشافها. يمكن استخدام البيانات في إنشاء توزيع من غير متغيرات في حال عدم تمكننا من معرفة شيء عن التوزيع الاحتمالي الأساسي الذي ينتج مجموعة من البيانات. وهذا أداء رياضي بشع، مليء بعدم الترابط وتنقصه اللباقة الرياضية. تمكن كانتيلي رغم هذه البنية السيئة من أن يوضح، أن دالة التوزيع التجريبية قد اقتربت أكثر من الدالة التوزيعية الحقيقية بزيادة عدد المشاهدات.

تمت ملاحظة أهمية براهين غليفنكو-كانتيلي على الفور، وتم خلال العشرين سنة التالية، إثبات الكثير من النظريات عن طريق تحويلها إلى تطبيقات متكررة لهذه البراهين. فكانت إحدى أدوات البحث الرياضي المستخدمة دائماً في البرهنة. كان على علماء الرياضيات في بداية القرن، أن يستخرجوا من هذه البراهين استخدامات ذكية في تقنية الحساب. يتكون بناء دلالة التوزيع التجريبي من سلسلة من الخطوات الحسابية البسيطة. قد

يستغرق الكمبيوتر الميكانيكي الرائع، والقادر على أداء ملايين العمليات بثانية واحدة ومن غير خدع، في استخدام دلالة التوزيع التجريبية لحساب المتغيرات من العينات الكبيرة للبيانات. لم تتوفر مثل هذه الآلة لا في الخمسينيات أو الستينيات أو حتى السبعينيات. أصبح بإمكان الكمبيوتر في الثمانينيات أداء مثل هذه العمليات. فباتت براهين غليفنكو-كانتيلي أساساً للتقنية الإحصائية الجديدة، يمكن أن نجدها في عالم الكمبيوترات السريعة.

إفرون وأسلوب «رباط الحذاء»

اخترع برادلي إفرون Bradley Efron سنة 1982 من جامعة ستانفورد أسلوب «رباط الحذاء». وهو أسلوب مبني على تطبيقين بسيطين من براهين غليفنكو-كانتيلي. إن مفهوم هذين التطبيقين بسيط، ولكنه يتطلب استخداماً مكثفاً للكمبيوتر لحساب البيانات وإعادة الحساب مراراً. قد يستغرق تحليل رباط الحذاء النموذجي لمجموعة متوسطة الحجم من البيانات عدة دقائق حتى مع أقوى أجهزة الكمبيوتر.

أطلق إفرون على هذه الإجراءات رباط الحذاء، حيث إن البيانات تحاول أن ترقى بنفسها مستخدمة أربطتها الخاصة، إذا جاز التعبير. ويمكننا القول بأنها نجحت حيث إن الكمبيوتر لا يتذمر من القيام بالحسابات المكررة. ويمكن للكمبيوتر وباستخدام الترانزيستور الحديث، أن يفعل ذلك بأجزاء من

المليون من الثانية. هناك عمليات رياضية معقدة وراء أسلوب رباط الحذاء الخاص بإفرون. أثبتت أبحاثه الأصلية أن هذا الأسلوب ملائم للأساليب القياسية عند تكوين فرضيات معينة عن التوزيع الحقيقي الأساسي. توسعت استخدامات هذا الأسلوب لدرجة أنها حوت كل أعداد مجلات الرياضيات الإحصائية منذ سنة 1982، على مقالة أو أكثر لأسلوب رباط الحذاء هذا.

أسلوب إعادة أخذ العينات وغيره من أساليب الكمبيوتر

يوجد الكثير من الأوجه لأسلوب رباط الحذاء والأساليب المتصلة به، والتي يمكن أن تقع جميعها تحت الاسم العام لأسلوب إعادة أخذ العينات. لقد أوضح إفرون أنه بالإمكان رؤية أساليب ر.آ. فيشر الإحصائية القياسية، كأشكال أخرى لإعادة أخذ العينات. فتكون إعادة أخذ العينات إذن جزءاً من الأساليب الإحصائية واسعة المدى، والتي يطلق عليها «أسلوب الكمبيوتر». تستفيد أساليب الكمبيوتر الشاملة من قدرة أجهزة الكمبيوتر الحديثة على أداء كميات هائلة من الحسابات، والعمل مع نفس البيانات مراراً وتكراراً.

طور جون روزنبلات Joan Rosenblatt من المكتب الوطني للمقاييس مثل هذا الأسلوب في الستينيات، كما طوره إمانويل بارزن Emmanuel Parzen من جامعة ولاية إيوا، كل على حدة. عرفت أساليبهما بـ «تقدير جوهر الكثافة». وبالتالي،

أدى تقدير جوهر الكثافة إلى جوهر الكثافة المبني على انحدار التقدير. شملت هذه الأساليب متغيرين اختياريين أطلق عليهما «الجوهر» و«الشمولية». وبعد ظهور هذه الأفكار بقليل، وفي سنة 1967 (قبل ظهور الكمبيوترات القوية التي يمكنها الاستفادة منهما كلياً)، استخدم جون فان ريزن John van Ryzin من جامعة كولومبيا براهين غليفنكو -كانتيلي لتحديد التشكيلة المثلى لهذه المتغيرات.

اكتشف المجتمع الهندسي أثناء ما كان الإحصائيون ينتجون النظريات، ويكتبون في مجلاتهم الخاصة، جوهر الكثافة المبنية على الانحدار لروزنبلات وبارزن، وأطلق عليها مهندسو الكمبيوتر مسمى «التقريب المشوش». وهي تستخدم ما أسماه ريزن «الجوهر غير المثالي» مع خيار واحد اختياري للشمولية. لا يُبنى التدريب الهندسي على البحث عن أفضل الأساليب النظرية الممكنة، بل على كل ما قد يعمل. وفي الوقت الذي ينشغل فيه علماء النظريات بالمقياس التجريدي الأمثل، يستخدم المهندسون في العالم الواقعي، التقريب المشوش لإنتاج أنظمة مشوشة أساسها الكمبيوتر. تستخدم الأنظمة الهندسية المشوشة في آلات التصوير البارعة، التي تعدل أوتوماتيكياً الحدقة والبؤرة. وتستخدم أيضاً في الأبنية الجديدة للمحافظة على درجات الحرارة الثابتة والمريحة، والتي قد تختلف حسب الاحتياجات المتنوعة في الغرف المختلفة.

كان بارت كوسكو Bart Kosko، وهو استشاري هندسي

لامع، أحد المشاهير كثيري الإنتاج للأنظمة المشوشة. وأثناء تفحصي للتراجم في كتبه، تمكنت من إيجاد مراجع لعلماء الرياضيات السائدين في القرن التاسع عشر، مثل غوتفريد ويلهيلم فون ليبنز، مع مراجع أخرى للإحصائي الرياضي نوربرت وينر، الذي ساهم في نظرية مراحل الاتفاق وتطبيقها على الأساليب الهندسية. لم أتمكن من إيجاد مراجع لروزنبلات وبارزن وفان ريزن، أو لمن ساهم لاحقاً في نظرية النواة المبنية على الانحدار. وبالتوصل في الغالب إلى خطوات الكمبيوتر نفسها تماماً، اتضح تطور الأنظمة المشوشة وجوهر الكثافة المبني على الانحدار من غير اعتماد بعضها على الآخر.

انتصار النماذج الإحصائية

إن إضافة أساليب الكمبيوتر الإحصائية إلى التدريب الهندسي القياسي، هو مثال لأثر الثورة الإحصائية في العلوم، وكيف أصبحت كلية الوجود في نهاية القرن العشرين. لم يعد الإحصائيون الرياضيون هم بمفردهم من أهم المشاركين في التطور. كان الكثير من نظرياتهم الدقيقة التي ظهرت في مجلاتهم في السبعين سنة الماضية، غير معروفة للعلماء أو المهندسين الذين استخدموها بالرغم من ذلك. وتمت إعادة اكتشاف النظريات الأكثر أهمية، مرات كثيرة[3].

(3) استخدمت في رسالتي للدكتوراه أصنافاً من التوزيعات المعروفة، على الأقل بين الإحصائيين، بـ«توزيعات بواسون المركبة». وأثناء =

لا يعاد إثبات النظريات الأساسية أحياناً، وإنما يفترض المستخدم صحتها لأنها تبدو صحيحة بالفطرة. في بعض الحالات يقحم المستخدم النظريات التي ثبت عدم صحتها ثانية، لأنها تبدو صحيحة بالفطرة. وهذا بسبب كون مفاهيم التوزيعات الاحتمالية متأصلة في التعليم العلمي الحديث الذي يفكر فيه العلماء والأساتذة تبعاً للتوزيعات. تقدم كارل بيرسون، قبل مئة سنة، ليخبرنا أن منشأ كل المشاهدات من التوزيعات الاحتمالية، وأن الهدف من العلوم هو حساب متغيرات هذه التوزيعات. وكان الاعتقاد العلمي السائد قبل ذلك أن الكون يسير حسب قوانين، مثل قوانين نيوتن للحركة، وأن الأخطاء هي سبب كل التغيرات الظاهرة في كل ما هو مُشاهد.

سيطرت دراسة بيرسون العلمية تدريجياً. فكان كل من تدرب على الأساليب العلمية في القرن العشرين، يسلم برؤية بيرسون تسليماً كاملاً. وأصبحت متأصلة في الأساليب العلمية الحديثة في تحليل البيانات، وقليل ما يُبذل أي مجهود في توضيحها. يستخدم الكثير من العلماء والمهندسين هذه التقنية من غير التفكير بالمضمون المنطقي لهذه الدراسة.

---

* عملي بالرسالة، كان علي البحث في ما كتب، ووجدت التوزيع نفسه في علم الاقتصاد، وفي عمليات البحث، وفي الهندسة الكهربائية وأخيراً في علم الاجتماع. كان يطلق عليها في بعض الأماكن «المتعة بواسون». وفي أماكن أخرى «بواسون ذات الحدين». «أحادية بواسون». وفي بعض الأبحاث أطلق عليها «توزيع حافلة الحي الخامس».

ومع انتشار مبدأ التوزيعات الاحتمالية على أنها الأمور «الصحيحة» التي يحقق فيها العلم، قام الفلاسفة وعلماء الرياضيات بالكشف عن المسائل الأساسية الجادة. لقد قمت بتفحص بعضها أثناء مروري في الفصول السابقة، وخصصت الفصل الأخير لهذه المسائل.